

# Befindlichkeitsstörungen bei Umweltambulanz-Patienten: Über die Bedeutung der Luftwechselrate und von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) in der Innenraumluft\*

Complaints in a group of "environmental patients": Relevance of ventilation rates and concentrations of volatile organic compounds (VOC) in patients' dwellings

Detlef Laußmann, Dieter Eis

**Korrespondenzadresse:** Dr. med. Dieter Eis, Dipl. Biol. Detlef Laußmann, Robert Koch-Institut, Fachgebiet 22/Umweltmedizin, Seestr. 10, D-13353 Berlin, E-Mail: [EisD@rki.de](mailto:EisD@rki.de); [LaussmannD@rki.de](mailto:LaussmannD@rki.de)

## Abstract

Within a subsample of an out-patient based study on environment related complaints we investigated, whether VOC concentrations and ventilation rates in patients' dwellings are statistically associated with complaints, e.g. fatigue and appraised affinity towards infections. In the dwellings of around 50 "environmental patients", volatile organic compounds, ventilation rates and humidity were measured, each under worst case conditions. An environmental-medicine questionnaire (including items regarding fatigue, competitiveness and infections) was administered. Statistical analysis indicates an association between ventilation rate and complaints (low ventilation leads to more self-reported fatigue and infections) but no association between VOC and complaints, although a significant correlation exists between ventilation and VOC. This study focussing on home environments is consistent with findings of epidemiological studies in other environmental settings (e. g. office buildings). Because of the small sample size and some methodological limitations, the results of this study needs to be interpreted carefully. Further home environmental studies are needed in order to consolidate findings or to draw firm conclusions.

möglicherweise sogar auf die Gesundheit der Bewohner oder Nutzer auswirken (z. B. Bornehag et al. 2005, Seppänen und Fisk 2004). Die einschlägige Literatur zu den umweltmedizinischen Aspekten der Innenraumluftqualität ist mittlerweile kaum noch zu überschauen, sodass hier stellvertretend nur einige Übersichtsarbeiten genannt werden (Bischof und Wiesmüller 2007, Burge 2004, Dales et al. 2008).

Im Rahmen der Berliner Studie zu umweltbezogenen Erkrankungen (Eis et al. 2005), einer so genannten Umweltambulanz-Studie, die das Robert Koch-Institut von 1999 bis 2004 in Kooperation mit der Charité durchgeführt hatte, wurde bei einer Unterstichprobe der Studienteilnehmer geprüft, ob die in den Haushalten gemessenen VOC oder der ebenfalls bestimmte Luftaustausch einen Einfluss auf die Befindlichkeit der Bewohner ausüben.

## Methode

Bei 53 Umweltambulanz-Patienten, die über gesundheitliche Probleme im Zusammenhang mit ihren privaten Aufenthaltsräumen berichtet hatten, konnten Wohnraumuntersuchungen durchgeführt werden. In den Wohnungen wurden unter "worst case"-Bedingungen sowohl Raumluftproben auf flüchtige organische Verbindungen genommen ( $n = 53$ ) als auch Luftwechselbestimmungen ( $n = 48$ ) mittels  $\text{CO}_2$ -Tracergasmethode und Feuchtemessungen ( $n = 48$ ) durchgeführt. Unabhängig vom Messprogramm und ohne Kenntnis der Messergebnisse haben die Patienten einen umweltmedizinischen Fragebogen ausgefüllt, der unter anderem Fragen zur gesundheitlichen Befindlichkeit der Umweltambulanz-Patienten enthielt. Mittels Trendanalysen (Chi-Quadrat-Test auf Trend) wurde geprüft, ob Zusammenhänge zwischen der Häufigkeit der "Ja"-Antworten auf die Fra-

## Einleitung

Die Luftqualität in Innenräumen hängt bekanntermaßen nicht nur von der innerräumlichen Emission luftverunreinigender Stoffe und der Raumgröße ab, sondern in erheblichem Maße auch vom Luftwechsel, also dem Luftaustausch zwischen Innenraumluft und Außenluft, und damit auch von der Qualität der Außenluft (Laußmann 2005). Eine unzureichende Lüftung oder zu luftdichte Bauweise der Gebäude und die daraus resultierenden raumlufthygienischen Bedingungen in Wohn- oder Aufenthaltsräumen können sich unter Umständen ungünstig auf die Befindlichkeit und

\* Aus: Umweltmedizinischer Informationsdienst, Ausgabe 1/2009, S. 23-28

**Tabelle 1:** Quartilen von Summenkonzentrationen flüchtiger organischer Verbindungen

VOC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Gültige N	Min.	25.P	Median	75.P	Max.
VOC-gesamt	53	53,8	161	347	599	3.250
Alkane	52	2	11	27,5	54	301
Aromaten	53	9	26	46,6	85	397
Terpene	53	< BG	22	52,5	116	1.008
Ester	49	< BG	6	11	30	1.861
Alkohole	51	< BG	9	19	45	322
Formaldehyd	48	12	24	38	54	180

Bezeichnungen: gültige N = Anzahl der Proben mit Messwerten; Min = Minimum; 25 P = Perzentil; Max = Maximum; BG = Bestimmungsgrenze

**Tabelle 2:** Luftwechsel in Innenräumen von Privathaushalten bei Patienten der Berliner Studie zu umweltbezogenen Erkrankungen ( $\text{CO}_2$ -Tracergas-Abklümmethode, "worst case"-Bedingungen)\*

Anzahl n	Luftwechsel [h <sup>-1</sup> ]					
	Min.	Median	GM	AM	Max.	< 0,5
48	0,06	0,21	0,22	0,36	1,98	83%

\* Fenster und Türen geschlossen, GM geometrischer Mittelwert, AM arithmetischer Mittelwert

gen zur "Abnahme des Leistungsvermögens in letzter Zeit" und bezüglich einer (für den Patienten) unerklärlichen "starken Erschöpfbarkeit/Erschöpfung/Müdigkeit" auf der einen Seite und der Gesamt-VOC-Konzentration, wie auch der Konzentrationen von ausgewählten VOC-Substanzklassen, sowie den gemessenen Luftwechselraten auf der anderen Seite bestehen. Für die Trenduntersuchungen wurden die in Form von kontinuierlichen Messwerten vorliegenden VOC-Konzentrationen zunächst durch Bildung von Quartilen in kategoriale (ordinal-skalierte) Daten umgewandelt (Tabelle 1). Bei den gemessenen Luftwechselraten erfolgte eine Dreiteilung der Häufigkeitsverteilung in die folgenden Messwertbereiche: < Median (0,2 pro Stunde), Median bis 75. Perzentil (0,4 pro Stunde), > 75. Perzentil (1,98 pro Stunde).

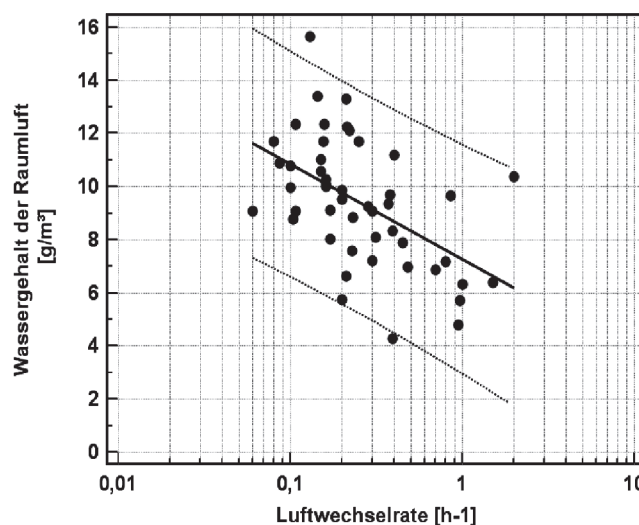
## Ergebnisse

In jedem der 53 Haushalte sind in mindestens einem maßgeblichen Aufenthaltsraum oder "Problemraum" die VOC-Konzentrationen, einschließlich Formaldehyd, unter "worst case"-Bedingungen (Fenster und Türen geschlossen) gemessen worden (Tabelle 1).

Der Medianwert der VOC-Summenkonzentration betrug  $347 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Im Einzelnen traten Terpene und Aromaten (mit jeweils um  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sowie Formaldehyd ( $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) hervor. Der ebenfalls unter "worst case"-Bedingungen gemessene Luftwechsel lag im Mittel bei etwa 0,2-0,4 pro Stunde (Tabelle 2). 83% der Wohnungen wiesen aus hygienischer Sicht einen zu geringen Luftwechsel von unter 0,5 pro Stunde auf.

Die Luftwechselrate war mit der in den betreffenden Räumen gemessenen absoluten Raumluftfeuchte negativ korreliert ( $r = -0,52$ ;  $p < 0,0001$ ; Abb. 1).

Eine statistisch signifikante Abnahme der Häufigkeit von Klagen über Leistungsminderung und starker unerklärlicher Müdigkeit/Erschöpfbarkeit konnte mit zunehmender Luftwechselrate der Aufenthaltsräume beobachtet werden (Abb. 2). Im Unterschied dazu konnte zwischen den gemessenen Schadstoffkonzentrationen und den Probandenangaben keine statistisch signifikanten Assoziationen festgestellt werden (Abb. 3), obwohl signifikante Korrelationen zwischen den VOC-Konzentrationen und dem Luftwechsel bestanden (Abb. 4).

**Abb. 1:** Zusammenhang zwischen der Raumluftfeuchte (Wassergehalt der Raumluft) und der Luftwechselrate in 48 Räumen

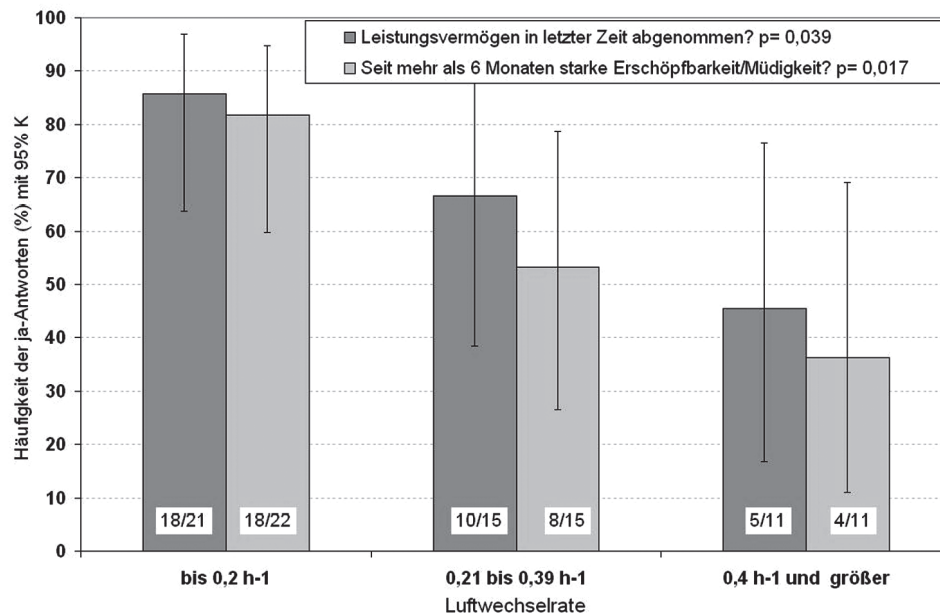


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Befindlichkeit und Luftwechselrate (n = 48)

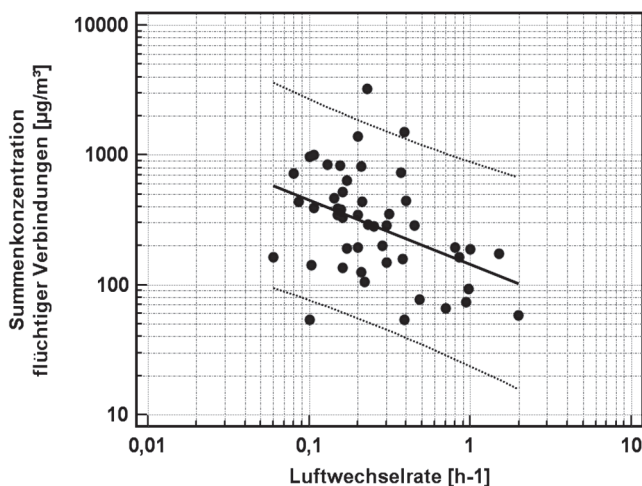


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Befindlichkeit und Summenkonzentration von VOC (n = 53)

Eine deutliche statistische Beziehung bestand zudem zwischen der Luftwechselrate und der von den Patienten zuvor – also in Unkenntnis der Ergebnisse der Innenraumuntersuchungen – berichteten Infektanfälligkeit (Abb. 5). Je geringer der Luftwechsel, desto häufiger wird ganz allgemein über Infekte oder eine besondere Infektanfälligkeit geklagt, speziell auch über gehäufte Infekte der oberen Atemwege.

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Epidemiologische Studien an Büro- und anderen Arbeitsplätzen haben gezeigt, dass ausreichende Raumlüftung und

ein zuträgliches Raumklima einen positiven Einfluss auf Leistungsfähigkeit und Produktivität der Raumnutzer ausüben können (Bischof und Wiesmüller 2007, Burge 2004, SCHER 2007). Die vorliegenden im Rahmen einer Umweltambulanz-Studie durchgeführten Wohnraum-Untersuchungen lassen – wenn auch an einer sehr viel kleineren Stichprobe – ähnliche Ergebnisse bezüglich Erschöpfung, Müdigkeit und Leistungsvermögen erkennen. Hierbei spielt anscheinend der geringe Luftwechsel eine größere Rolle als die erhöhten VOC-Konzentrationen. Anzumerken ist, dass der Luftwechsel aufgrund des erheblichen Untersuchungsaufwandes nur in einem Raum der Wohnung (meist dem Schlafzimmer) bestimmt werden konnte und die Probenahme für die VOC-Bestimmung in der Regel ebenfalls nur in einem Wohnraum erfolgen konnte. Außerdem war das chemisch-analytische Untersuchungsspektrum auf die Analyse flüchtiger organischer Verbindungen begrenzt, während andere, das Befinden möglicherweise ebenfalls beeinflussende Faktoren hier nicht berücksichtigt werden konnten. Noch gravierender sind möglicherweise die Einschränkungen, die sich aufgrund der erfassten Zielvariablen (Müdigkeit/Erschöpfung, Leistungsfähigkeit) ergeben, da im Hinblick auf VOC-Expositionen sicherlich noch andere gesundheitliche Endpunkte in Betracht zu ziehen wären (Wolkoff et al. 2006).

Nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie sind niedrige Luftwechselraten in Privathaushalten zudem mit einer erhöhten Infektanfälligkeit bzw. mit gehäuften Infekten assoziiert. Derartige statistische Zusammenhänge sind bisher vor allem für nicht-private Räumlichkeiten, insbesondere klimatisierte Räume/Gebäude wie zum Beispiel

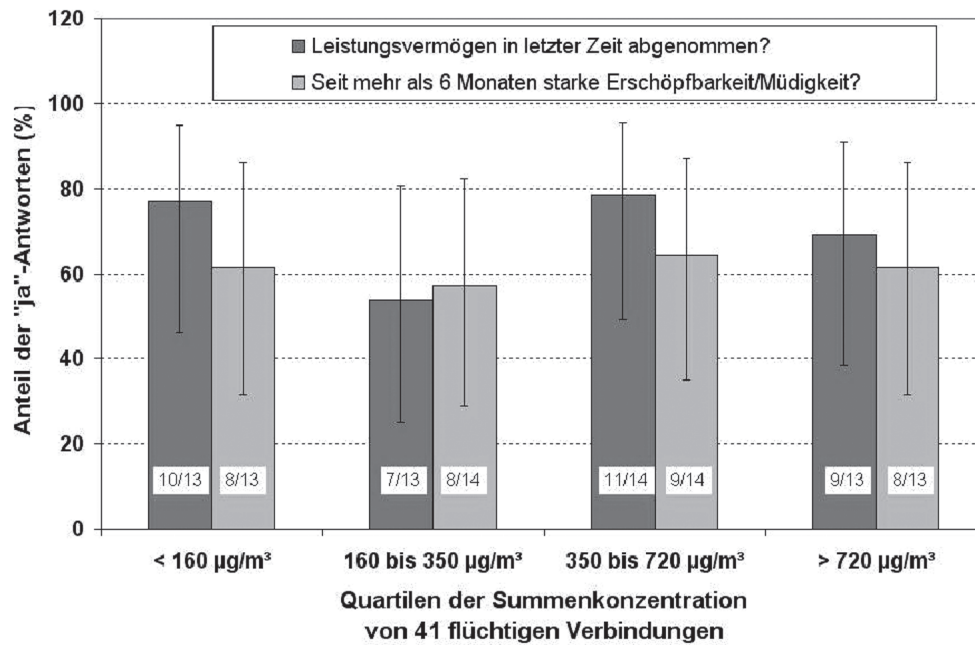


Abb. 4: Zusammenhang zwischen der VOC-Summenkonzentration (41 Verbindungen) mit der Luftwechselrate unter "worst case"-Bedingungen (n = 48, r = - 0,42, p < 0,005)

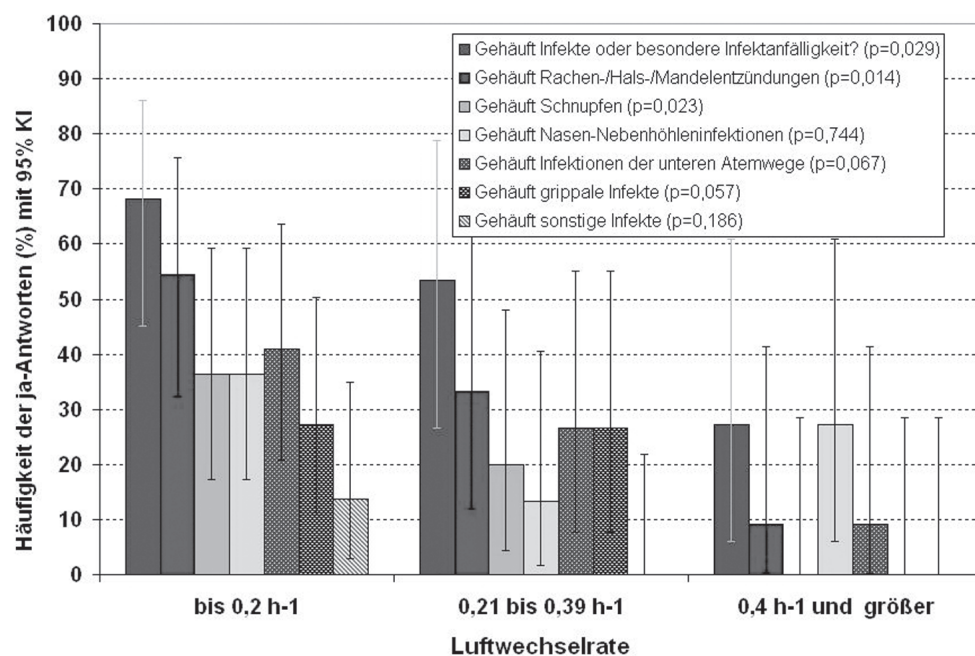


Abb. 5: Luftwechsel und Infektanfälligkeit

Krankenhäuser, Büros, Schiffe und Flugzeuge beschrieben worden (Li et al. 2007).

Formal-pathogenetisch sind verschiedene Interaktionen denkbar: Beispielsweise könnte es aufgrund eines geringen Luftwechsels und der damit verbundenen Cofaktoren (erhöhte Konzentration von CO<sub>2</sub>, Innenraumfremdstoffen und biogenen Agenzien; ggf. erhöhte Luftfeuchte) bei den Bewohnern zur fortgesetzten Beanspruchung der äußerlich

zugänglichen Schleimhäute und mit der Zeit zu einer Beeinträchtigung der Schleimhautintegrität kommen. Diese Veränderungen könnten zu Infekten prädisponieren. Als infektiöse Pathogene kommen dabei sowohl schleimhaut-assoziierte Erreger als auch die Erregerexposition im häuslichen und außerhäuslichen Umfeld in Betracht. Es kommt hinzu, dass ein niedriger Luftwechsel im Wohnbereich in Gegenwart von infizierten Mitbewohnern zu einer verstärk-



ten Pathogenexposition und dadurch womöglich auch zu einem erhöhten Infektionsrisiko beitragen könnte.

Im Kontext der Schimmelpilzproblematik ist wiederholt über adverse Effekte von Feuchtigkeit im Innenraum ("dampness") berichtet worden (Fisk et al. 2007, Institut of Medicine 2004). "Dampness at home" ist, einer skandinavischen Studie zufolge, mit entzündlichen Veränderungen an der Nasenschleimhaut und einem erhöhten Risiko für respiratorische Infekte assoziiert (Bakke et al. 2007). Obwohl die absolute Raumluftfeuchte, wie in **Abb. 1** gezeigt, mit abnehmender Luftwechselrate zunimmt, ist damit noch keineswegs geklärt, inwieweit dieser Korrelation auch im Hinblick auf den geschilderten Zusammenhang zwischen Luftwechsel und Infektanfälligkeit eine Relevanz zukommt. Wie aus einer bislang unveröffentlichten größeren Untersuchung des RKI in mehr als 100 Haushalten hervorgeht, weist ein erheblicher Teil der Wohnungen mit geringem Luftaustausch eine durchaus niedrige Raumluftfeuchte auf, sodass hier also selbst bei geringem Luftwechsel und besonders in den Heizperioden eine eher trockene Luft vorherrschen dürfte.

Die vorliegenden Ergebnisse bedürfen aufgrund des relativ geringen Stichprobenumfanges einer Verifizierung durch andere Wohnraumstudien, bevor weitergehende Schlussfolgerungen gezogen werden können. Hierbei müsste auch auf eine möglichst verlässliche, prospektive Erfassung der Infektionsepisoden (nach Art, zeitlichem Verlauf und Schwere) sowie auf eine ausreichende Erfassung von wirkungsvermittelnden Cofaktoren geachtet werden. Überdies sollte nicht nur das Lüftungsverhalten der Bewohner beachtet und dokumentiert, sondern nach Möglichkeit auch der reale Luftwechsel ermittelt werden. Dass es sich hierbei allerdings um sehr aufwändige Studien handeln würde, muss nicht weiter ausgeführt werden. Letztlich haben sich die Zusammenhänge zwischen "Indoor Environment and Health" als vielschichtiger erwiesen als dies noch vor wenigen Jahren vermutet worden war.

## Literatur

- Bakke JV, Norbäck D, Wieslander G, Hollund BE, Moen BE (2007): Pet keeping and dampness in the dwelling: associations with airway infections, symptoms, and physiological signs from ocular and nasal mucosa. *Indoor Air* 17, 60-69
- Bischof W, Wiesmüller GA (2007): Das Sick Building Syndrome (SBS) und die Ergebnisse der ProKlima-Studie. *Umweltmed. Forsch. Prax.* 12(1), 23-42
- Bornehag CG, Sundell J, Hägerhed-Engman L, Sigsgaard T (2005): Association between ventilation rates in 390 Swedish homes and allergic symptoms in children. *Indoor Air* 15, 275-280
- Burge PS (2004): Sick building syndrome. *Occup. Environ. Med.* 61, 185-190
- Dales R, Liu L, Wheeler AJ, Gilbert NL (2008): Quality of indoor residential air and health. *Can. Med. Assoc. J.* 179(2), 147-152
- Eis D, Helm D, Laußmann D, Mühlinghaus T, Dietel A et al. (2005): Berliner Studie zu umweltbezogenen Erkrankungen. Forschungsbericht, 303 Seiten. Im Auftrag des BMG, Robert Koch-Institut, Berlin, den 31.10.2005. [www.apug.de/archiv/pdf/Berichtsband\\_Berliner-Studie.pdf](http://www.apug.de/archiv/pdf/Berichtsband_Berliner-Studie.pdf)
- Fisk WJ, Lei-Gomez Q, Mendell MJ (2007): Meta-analyses of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes. *Indoor Air* 17, 248-296.
- Institut of Medicine (U.S.), Committee on Damp Indoor Spaces and Health (2004): Damp Indoor Spaces and Health. The National Academies Press, Washington
- Laußmann D (2005): Luftwechsellmessungen mit Tracergasen. In: Moriske HJ, Turowski E (Hrsg.): Handbuch für Bioklima und Lüftthygiene, 14. Erg. Lfg. 6/2005, Kapitel III-6.2.6. ecomed, Landsberg am Lech
- Li Y, Leung GM, Tang JW, Yang X, Chao CYH, Lin JZ, Lu JW, Nielsen PV, Niu J, Quian H, Sleight AC, Su HJJ, Sundell J, Wong TW, Yuen PL (2007): Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment – a multidisciplinary systematic review. *Indoor Air* 17, 2-18
- SCHER, Scientific Committee on Health and Environmental Risks (2007): Opinion on risk assessment on indoor air quality. European Commission, Health & Consumer Protection. [http://ec.europa.eu/health/ph\\_risk/risk\\_en.htm](http://ec.europa.eu/health/ph_risk/risk_en.htm)
- Seppänen OA, Fisk WJ (2004): Summary of human responses to ventilation. *Indoor Air* 14 (Suppl. 7), 102-118.
- Wolkoff P, Wilkins CK, Clausen PA, Nielsen GD (2006): Organic compounds in office environments – sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry. *Indoor Air* 16, 7-19